

Это приводит к неоправданным затратам на штамповку поковок из дефектных заготовок и на механическую обработку поковок с недопустимыми дефектами.

В качестве основной меры борьбы с дефектами поверхности поковок в последнее время считается применение заготовок после сплошной обточки их поверхности на металлургических заводах.

Сплошная обточка заготовок по затратам существенно превосходит затраты на неразрушающий контроль и выборочную зачистку заготовок после его проведения.

Срок окупаемости средств неразрушающего контроля заготовок в кузнечно-штамповочных цехах по нашему мнению будет мало отличаться от рассчитанного для неразрушающего контроля НЛЗ.

Вывод – одним из главных путей повышения качества продукции и эффективности прокатного и кузнечно-штамповочного производства является внедрение неразрушающего контроля заготовок.

**УДК 621.774**

**ГУЛЯЕВ Ю.Г.**, докт. техн. наук, проф., НМетАУ, г. Днепропетровск  
**ГАРМАШОВ Д.Ю.**, аспирант НМетАУ, г. Днепропетровск.

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТРУБ ДЛЯ КОРПУСОВ ПЭН И ПЭД**

Усовершенствован способ деформации полых изделий волочением путем совмещения в одном процессе двух процессов деформирования: короткооправочного волочения и дорнования труб по внутреннему диаметру. В работе теоретически и практически исследован разработанный способ волочения-дорнования. Рассмотрены вопросы о пределах допустимой деформации. Приведены оптимальные геометрические размеры оправок.

Ключевые слова: волочение, дорнование, точность, труба, оправка.

Вдосконалено спосіб деформування труб одночасно у двох осередках деформації шляхом поєднання в одному процесі короткооправочного волочіння й дорновання труб по внутрішньому діаметру. У роботі теоретично і практично досліджено розроблений спосіб волочіння-дорновання труб. Розглянуто питання про межі допустимої деформації при волочінні-дорнуванні. Приведені оптимальні геометричні розміри оправок, визначена величина оптимального кута забірної конуса.

Ключові слова: волочіння, роздача, правка, точність, труба, оправка.

The way of deformation of hollow products by drawing by overlapping in one process of two processes of deformation is advanced: the fixed plug drawing and burnishing pipes on internal diameter. In work theoretically the developed way of drawing also is practically investigated. Questions about limits admissible deformation. The optimum geometrical sizes fixed plug are resulted, the size of a corner flare is certain.

Key words: drawing, distribution, tube, accuracy, ovality, curvature.

### **1. Введение**

Стальные трубы остаются основным продуктом, потребляемым многими отраслями мирового промышленного комплекса.

Постоянно возрастающие требования, предъявляемые машиностроительными отраслями промышленности и, особенно, - потребителями труб для добычи и транс-

портировки нефти и газа к показателям точности и качества готовой продукции, расширению ее сортамента, обуславливают необходимость постоянной модернизации, развития соответствующих технологий изготовления труб.

При изготовлении прецизионных труб размерами  $92\div 130\times 5,5\div 7,0$  мм для элементов буровой техники - погружных электродвигателей (ПЭД) и насосов (ПЭН) – широко используют технологию холодного волочения на короткой удерживаемой оправке. Использование данной технологии не обеспечивает в полной мере современных требований к показателям точности готовой продукции: разностенность не более  $\pm 5\%$ ; отклонений внутреннего диаметра от номинала до  $0,10\div 0,12$  мм и прямолинейности внутреннего канала до  $0,08\div 0,15$  мм на погонный метр. Кроме этого, существующая технология изготовления труб для ПЭД и ПЭН с использованием процесса холодного волочения на короткой удерживаемой оправке является многоциклической, что обуславливает высокие материальные затраты на изготовление готовой продукции и делает ее неконкурентоспособной. Существующий уровень развития теории холодного волочения на короткой удерживаемой оправке, и также объем существующих экспериментальных исследований данного процесса не могут в полной мере служить базой для повышения эффективности существующей технологии.

## **2. Постановка проблемы**

Таким образом, работа, направленная на повышение точности труб для элементов буровой техники, эффективности технологии короткооправочного волочения на базе усовершенствования теории процесса и проведения экспериментальных исследований с целью выбора оптимальных параметров пластического формоизменения, является актуальной задачей.

Целью данных исследований является разработка малозатратных способов повышения эффективности технологии и точности производимых крупногабаритных труб для корпусов ПЭН и ПЭД.

Для обеспечения повышенных требований по точности и сокращения цикличности технологии производства крупногабаритных труб для корпусов ПЭН и ПЭД предлагается усовершенствованный комбинированный способ волочения, в котором деформация трубы осуществляется последовательно путем короткооправочного волочения и дорнования внутреннего канала протягиваемых труб за пределами волокна на одной и той же ступенчатой оправке (рис.1).

## **3. Анализ опубликованных научных исследований**

В практике трубоволочильного производства встречаются комбинированные процессы [1-4], в которых в период одного прохода осуществляются две разнородные операции в последовательно расположенных очагах деформации:

- безоправочное волочение с последующим короткооправочным;
- безоправочное волочение с последующей раздачей за волокой [4] и т.д.

В литературе встречаются данные о совмещении таких двух процессов как короткооправочного волочения и раздачи по внутреннему диаметру - волочение-калибрование [3].

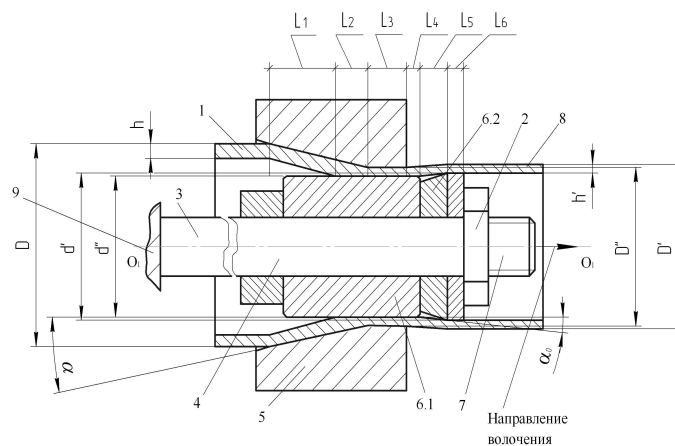


Рис. 1 – Поперечное сечение очага деформации при волочении-дорновании (обозначения в тексте).

Применение данного процесса должно положительно сказаться на точности труб, особенно крупногабаритных для корпусов ПЭН и ПЭД. Однако в силу малого количества экспериментальных и теоретических исследований данного способа, ошибок при проектировании профиля оправки для волочения-калибрования данный процесс не нашел применения.

#### 4. Изложение основных материалов исследований

В ходе данной работы на базе проведенных авторами данной работы исследований процесса волочения-калибрования разработан усовершенствованный процесс короткооправочного волочения - волочение-дорнование. Рассчитаны оптимальные параметры комбинированной оправки и определены пределы допустимой деформации, которые препятствуют обрывам и обеспечивают максимальное повышение точности проволочиваемых труб [5, 6].

Данный способ так же представляет собой комбинированный процесс волочения, при котором за один проход осуществляется обжатие по диаметру и стенки трубы в волоке и раздача, осуществляемая за пределами волоки при этом, на одной и той же ступенчатой оправке (рис. 1): 1-трубчатая заготовка; 2- стопор оправки; 3 - оправочный стержень; 4 - хвостовик оправочного стержня; 5 - волока; 6.1 – первая часть оправки; 6.2- вторая часть оправки; 7- нарезной конец оправочного стержня; 8- труба; 9- опора оправочного стержня;  $h$ – толщина стенки трубчатой заготовки до деформации;  $D$  – диаметр трубчатой заготовки до деформации;  $h'$  – толщина стенки трубы;  $D'$ – наружный диаметр трубы;  $h''$ – расчетная толщина стенки заготовки после деформации;  $D''$ - диаметр цилиндрического участка волоки;  $d'$ – наибольший диаметр выходного участка второй части оправки;  $d''$ – диаметр первой части оправки;  $O_1O_1'$ – ось волочения;  $\alpha$ – угол конусности конической части волоки;  $\alpha_1$ – угол конусности участка (раздачи) 6.2 оправки;  $L_1$ – длина зоны редуцирования заготовки по диаметру;  $L_2$ – длина зоны обжатия стенки заготовки между коническим участком волоки и цилиндрическим участком оправки;  $L_3$ – длина зоны калибрующего пояса волоки;  $L_4$ – длина зоны деформации на участке 6.1 оправки;  $L_5$ – длина зоны раздачи заготовки по диаметру на выходном участке 6.2 оправки;  $L_6$  – длина зоны калибровки заготовки на цилиндрическом участке второй части 6.2 оправки.

Применение данного способа в трубоволочильных цехах позволяет значительно увеличить мобильность изготовления холоднодеформированных труб, а также дает возможность изготавливать качественные трубы в широком диапазоне диамет-

ров из заготовки одного и того же размера как для обычных труб, так и для биметаллических.

Волочение-дорнование является одновременно калибрующим, упрочняющим и сглаживающим процессом. Режимы и схема деформирования металла назначены с целью повышения точности размеров и геометрической формы внутреннего канала труб; повышения физико-механических характеристик металла заготовок.

Совмещение короткооправочного волочения и свободного дорнования однозубым дорном, позволяет уменьшить основной недостаток присущим обоим процессам – прямое влияние исходной разностенности на отклонение от прямолинейности обработанных отверстий трубных заготовок.

В ходе осуществления процесса волочения-дорнования пластическая деформация, в основном внутренних слоев трубы, позволяет не только уменьшить величину остаточных напряжений, но и способствует более равномерному распределению напряжений по сечению трубы. Обработка внутренней поверхности трубы малыми пластическими деформациями порядка  $0,5 \div 3\%$ , последовательно охватывающими все сечения трубы, в процессе ее продвижения относительно калибрующей части ступенчатой оправки, гарантированно обеспечивает снижение отклонений от круглости и прямолинейности внутреннего канала трубы.

Для реализации разработанного способа, как уже отмечалось, применяется оправка с двумя рабочими зонами, обусловленных двумя процессами деформирования (рис. 2, табл.1): цилиндрической и конической.

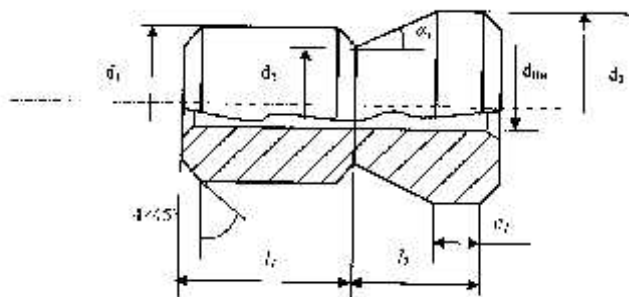


Рис. 2 –Оправка специальной конструкции в сборе.

Таблица 1 -Размеры сборной твердосплавной оправки

Условный размер труб, мм	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$C_1$ , мм	$\alpha_1$ , град.
130×60	117,36	116,70	118,14	60,0	60,0	20,0	12,0
123×6,5	109,33	108,10	110,11	60,0	60,0	20,0	12,0
117×60	104,31	103,40	105,10	60,0	60,0	20,0	12,0
114×70	99,30	97,40	100,08	60,0	50,0	15,0	12,0
103×6,5	89,30	87,80	90,08	60,0	50,0	15,0	12,0
103×5,5	91,31	92,50	92,10	60,0	50,0	15,0	12,0
92×60	79,30	78,0	80,08	60,0	50,0	15,0	12,0

Причем наилучшим вариантом является изготовление комбинированной оправки - сборной, состоящей из двух частей. Это условие обеспечит повышение стабилизации оправки в очаге деформации и упростит (удешевит) процесс ее изготовления.

Задняя рабочая часть оправки, используемая для раздачи (дорнования), выполняется конической с углом наклона образующей  $\alpha_1$ . На основании экспериментальных и теоретических исследований процесса волочения-дорнования определено условие, в процессе деформации трубы суммарное усилие волочения не превышает допустимую нагрузку на оправочный стержень при  $\alpha_1$  меньше угла конуса волокна  $\alpha$  на  $\approx 1 \div 3^\circ$  (рис 1).

Диаметр цилиндрического пояса второй ступени оправки, используемой для дорнования, несколько больше внутреннего диаметра трубы, примерно на  $0,1 \div 0,5$  мм. Это условие обусловлено учетом упругих радиальных деформаций при «разгрузке» трубы после схода с оправки. Диаметр первой, цилиндрической ступени, должен быть на  $0,5 \div 0,7$  мм меньше, чем второй (рис. 2).

В силу разности диаметров обжимной зоны  $d_1$  промежуточного участка  $d_2$  и диаметра цилиндрического пояса  $d_3$  в начальный момент волочения-дорнования на переднем конце готовой трубы появляется разовое утонение с последующим утолщением стенки трубы. Следует заметить, что образовавшееся изменения стенки не выводят толщину стенки за пределы допусков и лишь вызывает резкое, разовое увеличение усилия волочения, связанного с деформацией участка трубы с завышенной толщиной стенки и не превышающего предела прочности участка с утоненной стенкой.

С целью исключения затекания деформируемого металла в зазор между двумя частями оправки, обе части оправки соединяются плотно друг с другом без уплотнительных шайб (рис. 2), диаметр  $d_2$  на промежуточном участке выбирают на  $0,1 \div 0,2$  мм меньше диаметра первой цилиндрической части оправки.

Разницей диаметров комбинированной оправки так же обеспечивается необходимые величины сил между цилиндрическими поясами первой и второй ступеней оправки, в промежуточной зоне, чтобы создавался необходимый подпор стенки трубы, и не образовывалась складка на готовой трубе, затекание металла в полость между оправками. В этом случае возможна некоторая минимальная деформация по толщине стенки, обеспечивающая выравнивание мелких складок и рисок на внутренней поверхности трубы.

Главной отличительной особенностью от рассмотренного ранее способа, является осуществление малой величины деформации раздачи, находящейся на уровне механической отделки поверхности труб: поверхностного слоя.

Максимально допустимая величина деформации трубы за проход при волочении-дорновании полностью зависит от предела прочности протягиваемого металла, т.е. от напряжения волочения  $\sigma_{nc}$ . Суммарная величина напряжения волочения для шести основных участков очага деформации с увеличением величины натяга увеличивается, поскольку дорнование осуществляется с растяжением. Поэтому при выборе общей степени деформации необходимо задаваться минимальным натягом, достаточным только для обеспечения стойкости процесса волочения.

Величину деформации  $\varepsilon$  выбирают в зависимости от величины показателя тонкостенности трубы -  $T'$  и суммарной деформации (вытяжки) заготовки  $\mu$  соответственно полученной авторами теоретической зависимости:

$$\varepsilon = (0,0025 \dots 0,0125) \cdot (1 - 0,013 \cdot T') \cdot (\mu - 1) \cdot T' \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\varepsilon = \left(1 - \frac{d''}{d'}\right) \cdot 100\%$  - деформация дорнования заготовки по диаметру, %;  $d''$  -

диаметр цилиндрической части оправки на участке обжатия стенки, мм;  $d' = D' - 2h'$  - наибольший диаметр оправки на участке калибрования трубы после участка дорнования (раздачи), мм;  $T' = \frac{D'}{h'}$  - показатель тонкостенности трубы;  $D'$  - наружный диаметр трубы, мм;  $h'$  - толщина стенки трубы, мм;  $\mu$  - суммарная деформация (витязка) заготовки;  $D$  - диаметр заготовки до деформации, мм;  $h$  - толщина стенки заготовки до деформации, мм.

Рассматриваемый способ [6,7] прошел успешную апробацию на промышленном волочильном стане 2,5 МН. При этом наблюдалось уменьшение расходного коэффициента металла на  $0,3 \div 0,5\%$ . Так, например, при изготовлении труб с внутренним диаметром 80 мм (92х6 мм) по традиционной технологии внутренняя овальность труб составила 0,076%, а при дополнительной раздаче труб по диаметру величина овальности снизилась до 0,055%. Результаты апробации волочения-дорнования представлены в таблице 2.

Таблица. 2 - Результаты проведения опытного волочения-дорнования.

Способ волочения	Параметры точности готовых труб		
	Средняя разностенность $B'$ , %	Средняя внешняя овальность $\Delta D_{\text{в}}$ , %	Средняя внутренняя овальность $\Delta D_{\text{вн}}$ , %
Существующий способ производства (волочения)	5,30	0,076	0,113
Разработанный способ волочение-дорнование	5,29	0,055	0,112

## 5. Выводы:

1. Усовершенствован и исследован комбинированный способ волочения, в котором деформация труб последовательно выполняется путем короткооправочного волочения и объемного дорнования однозубым дорном – волочение-дорнование;
2. Рассчитаны оптимальные геометрические размеры оправок, определена величина оптимального угла конусности оправки;
3. Разработанный способ позволяет в существенной мере снизить отклонения от круглости и прямолинейности внутреннего канала, и тем самым обеспечить требуемые показатели точности крупногабаритных труб для корпусов ПЭН и ПЭД.

**Список литературы:** 1. Исследование, разработка и внедрение технологии изготовления высокоточных холоднотянутых труб с внутренним диаметром 62÷100 мм для гильз длиноходовых гидравлических и пневматических цилиндров автоматических манипуляторов: Отчет о НИР/ВНИТИ.- №6.1.4.К-59-82; №ГР01820066389; Инв.№1607488. Днепропетровск., 1985. - 76 с. 2. Стасовский Ю.Н., Медвинский М.Д., Чус А.В. Повышение эффективности трубного производства // Научные труды ВНИТИ. – Днепропетровск: Metallurgia, 1993. - С. 70-76. 3. Разработка и освоение технологии оправочного волочения труб для погружных электронасосов (ПЭН) и погружных электродвигателей (ПЭД) с улучшенной прямолинейностью. Отчет о НИР /ДМетИ.- №ГР0183.0018978; Инв.№Б232587.- Дн-ск., 1984. -62 с. 4. Савин Г.А. Волочение труб. - М.: Metallurgia, 1982.- 160 с. 5. Совершенствование производства прецизионных труб для

корпусов погружных электродвигателей и насосов. / Гуляев Ю.Г., Шифрин Е.И., Гармашев Д.Ю., Гуляев Е.Г.// В сб. Сучасні проблеми металургії VII Міжнародна науково-технічна конференція Том 8. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: «Системні технології». - 2005.- С. 426-428. 6. Пат. 72679. Україна. МКИ 7 B21C1.24. Способ волочения труб: Пат. 72679. Україна. МКИ 7 B21C1.24.; А.И.Козловский, Ю.Г.Гуляев, Е.И.Шифрин и др. - №20040907659; Заявл. 20.09.2004; Опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3.- 5 с. 7. Промышленная апробация способа волочения труб повышенной точности на короткой оправке /Гуляев Ю.Г., Шифрин Е.И., Гармашев Д.Ю., Семичев А.В.// Металлургическая и горнорудная промышленность.- 2004 - №1 – С. 29-30.

**УДК 621. 683**

**КАЛЮЖНИЙ О.В.**, канд. тех. наук, асист., НТУУ “КПІ”, м. Київ

## **ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ В ПРОЦЕСАХ ВІДБОРТУВАННЯ**

Методом скінчених елементів проведений аналіз процесу відборткування. Визначений вплив радіуса заокруглення матриці на геометричну форму виробу, ресурс пластичності та ступінь зміцнення здеформованого металу.

Ключові слова: відборткування, розрахунковий аналіз, радіус матриці, якість виробів

Методом конечных элементов проведен анализ процесса отбортовки. Определено влияние радиуса закругления матрицы на геометрическую форму изделия, ресурс пластичности и степень упрочнения металла после деформации

Ключевые слова: отбортовка, расчетный анализ, радиус матрицы, качество изделий

By the method of final elements the analysis of process of flanging was carried out. Effect of radius of a matrix rounding on the geometrical form of a product, a resource of plasticity and degree of hardening after deformation was defined.

Keywords: flanging, the settlement analysis, radius of a matrix, quality of products

### **1. Вступ**

В теперішній час в промисловості для отримання деталей типу балонів для нагрівання води використовують операції витягування двох половин виробу і зварюванням їх між собою. Причому в одній половині виконують пробивання отвору з подальшим відборткуванням горловини. Відборткована частина використовується для розвальцювання і фіксації фланця кріплення до поверхні балону. Однак існуючі рекомендації для проектування технології відборткування [1-2] в основному зводяться до визначення коефіцієнтів відборткування і практично відсутні дані по геометричній формі виробів з урахуванням пружної деформації металу після деформації, а також ресурсу пластичності і ступеню зміцнення металу на радіусі заокруглення і стінці горловини виробу. Останні фактори суттєво впливають на операцію розвальцювання відборткованої частини. Тому актуальною задачею є визначення розрахунковим шляхом на стадії проектування технології відборткування впливу радіуса заокруглення матриці на геометричну форму виробу, ступінь використання ресурсу пластичності та зміцнення металу після деформації. Такі показники, на наш погляд, характеризують якість виробів після відборткування.

### **2. Мета роботи.**